

A implementação da Diretiva 2007/60/CE em Portugal: problemas na definição de perímetros de inundação e na identificação de elementos expostos

Inês Marafuz¹
Pedro Gonçalves²
Alberto Gomes³
Carlos Bateira⁴

RESUMO

As cheias em Portugal, sobretudo em pequenas bacias hidrográficas, implicam processos destrutivos de infraestruturas, pessoas e bens, estando geralmente associadas a uma resposta rápida a eventos pluviosos intensos e de curta duração. Estes efeitos têm aumentado significativamente nas últimas três décadas em áreas que experimentaram uma intensa urbanização. Os Planos Diretores Municipais (PDM) são regulados por um quadro legislativo que implica a delimitação de zonas ameaçadas pelas cheias e restrições à ocupação destas áreas. Na sua definição, o uso de métodos hidro-meteorológicos rigorosos juntamente com dados geomorfológicos é raro, em parte, devido à escassa disponibilidade de informação altimétrica detalhada capaz de sustentar uma modelação hidrogeomorfológica eficiente. Seguindo os pressupostos da Diretiva Floods e aplicando métodos hidro-meteorológicos, realizaram-se estudos nas bacias hidrográficas dos rios Arda, Leça e Caima (Norte de Portugal), para se obterem os perímetros de inundação segundo vários períodos de retorno. Os resultados, quando comparados com as áreas ameaçadas pelas cheias definidas nos PDM's, revelam muitas diferenças relativamente às áreas classificadas como áreas inundáveis, facto validado durante o trabalho de campo. Também se observou que muitos elementos expostos, particularmente pontes, casas, pessoas e outras infraestruturas, localizadas em áreas inundáveis, não são consideradas nos Planos Diretores Municipais

Palavras-Chave

Diretiva 2007/60/2007, perímetros de inundação, elementos expostos, ordenamento do território

ABSTRACT

Floods in Portugal, mostly in small watersheds, implying destructive processes in infrastructures, people and goods, are generally associated with a rapid response to intense rain episodes of short duration. These effects increased significantly over the last three decades in areas that have experienced an intense urbanization. The

¹ Bolseira de Investigação, Departamento de Geografia da FLUP, ines.mfuz@gmail.com

² Bolseiro de Investigação, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, pedrommgoncalves@gmail.com

³ Professor Auxiliar do Departamento de Geografia da FLUP, albgomes@gmail.com

⁴ Professor Associado do Departamento de Geografia da FLUP, carlosbateira@gmail.com

Municipal Master Plans (PDM) are guided by a legislative framework that enforces the delimitation of affected areas by floods, considering restrictions for the occupation of those areas. In its definition, the use of rigorous hydro-meteorological methods coupled with geomorphological data is rare, in part, due to the poor availability of detailed altimetry data capable to sustaining an efficient hydrogeomorphological modelling. Following the Floods Directive assumptions and applying hydro-geomorphological methods, three case-studies were performed in the watersheds of the Arda, Leça and Caima rivers (Northern Portugal), to obtain flood-prone areas for several return periods. The results, when compared with the areas threatened by floods defined in the Municipal Master Plans, revealed many differences in the land classified as flood-prone area, facts that were validated through fieldwork. It was also found that multiple exposed elements, particularly bridges, houses, people and other infrastructures, located in floodplains were not considered in the Municipal Master Plans.

Keywords

Central EU Floods Directive, flood-prone areas, exposed elements, land use planning

1. Introdução

As cheias em Portugal, sobretudo nas pequenas bacias hidrográficas, são caracterizadas pela resposta rápida a eventos pluviosos intensos e de curta duração (Ferreira & Zêzere, 1997; Ramos & Reis, 2002). Esses episódios estão geralmente associados a depressões convectivas, gotas de ar frio especialmente ativas e resultantes de invasões de ar frio polar ou ártico em altitude, que se estendem até latitudes subtropicais, ou depressões que resultam da interação na frente polar das massas de ar polar e tropical (Ramos & Reis, 2002).

Os episódios de cheias que implicam perdas humanas e processos destrutivos de infraestruturas, bens e serviços, são frequentes em todo o mundo (EM-DAT, Jonkman & Vrijling, 2008), e a tendência para o aumento dos prejuízos associados a estes eventos, fruto da intensa urbanização que algumas áreas experimentaram (Hollis, 1975), é preocupante. Em Portugal, foi desenvolvida uma base de dados no âmbito do projeto DISASTER (<http://riskam.ul.pt/disaster/>) que disponibiliza dados ao público referentes a todos os eventos hidrogeomorfológicos, ou seja, cheias/inundações e movimentos de vertente, que provocaram mortos, feridos, evacuados e desalojados no período entre 1865 e 2010 (Soares et al., 2012). Os resultados gerais mostram que as cheias correspondem a 85,2% do total de eventos contidos nessa base de dados, perfazendo 1622 ocorrências. Segundo os autores, durante os 146 anos analisados, registaram-se 1071 mortos, 13372 evacuados e 40283 desalojados, vítimas destes eventos (Zêzere, et al. 2013).

Neste sentido, a Diretiva 2007/60/CE (*Floods Directive*) do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 23 Outubro de 2007, estabelece um quadro legislativo para a avaliação e gestão dos riscos de inundação, com a finalidade de minimizar as suas consequências sobre a população, os seus bens, as infraestruturas, o património cultural, as atividades económicas e o ambiente. Segundo essa Diretiva, todos os estados membros deverão elaborar mapas de perigo (probabilidade e/ou magnitude dos episódios) e de risco de cheias (consequências) até ao final de 2013. Estes mapas servirão de base para os futuros planos de gestão de risco de cheia, os quais deverão estar concluídos até 2015. Os mapas de perigo de cheia devem contemplar áreas de baixa probabilidade de ocorrência de inundações, média probabilidade com períodos de retorno iguais ou superiores a cem anos e de elevada probabilidade de ocorrência com periodicidade inferior a cem anos. Os mapas de risco referidos na Diretiva 2007/60/CE são de maior complexidade, devendo contemplar as consequências das cheias, nomeadamente o número de pessoas potencialmente afetadas, os tipos de atividade económica, as áreas protegidas afetadas, entre outros. No geral, os mapas que têm sido produzidos dizem respeito à extensão da cheia e, com menor expressão, à altura da coluna de água (Moel et al., 2009).

O principal objetivo deste estudo é analisar os problemas e limitações existentes na aplicação de metodologias rigorosas para a delimitação de perímetros de inundação no contexto português, fazendo-se uma avaliação preliminar das suas implicações em termos de identificação dos elementos expostos. Para se concretizar este objetivo, analisam-se três setores das bacias hidrográficas do rio Arda, Leça e Caima, seguindo-se os pressupostos da Diretiva *Floods* e do Decreto-Lei n.º 166/2008 de 22 de Agosto, da

Reserva Ecológica Nacional, que engloba as zonas ameaçadas pelas cheias. Pretendeu-se ainda comparar os resultados obtidos na modelação com as áreas ameaçadas pelas cheias já definidas nos Planos Diretores Municipais dos concelhos analisados (figura 1).

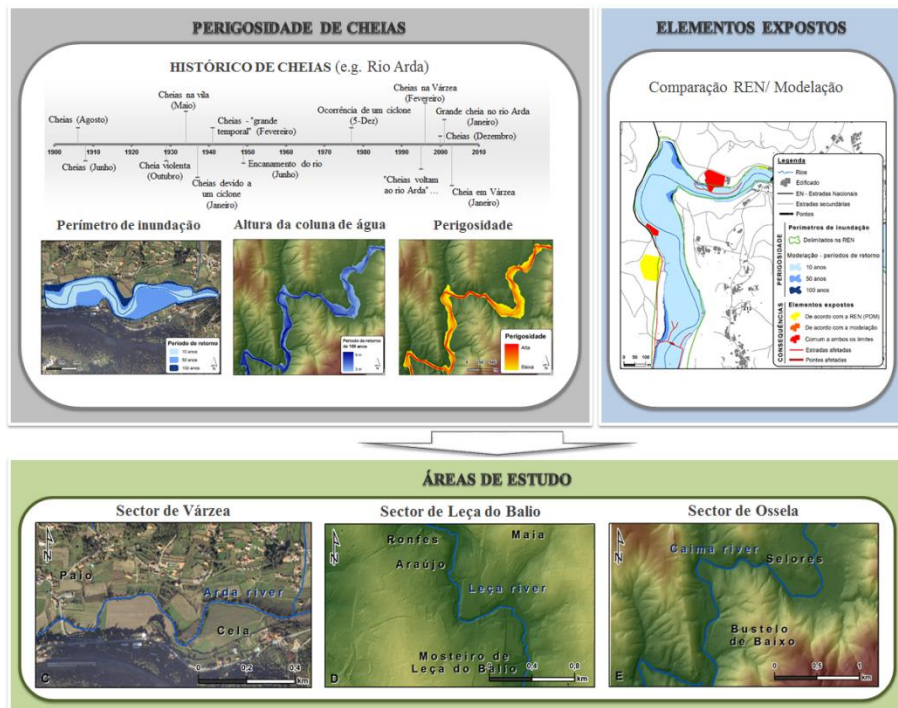


Figura 1. Visão geral do trabalho desenvolvido tendo em conta os pressupostos da Diretiva 2007/60/CE para os setores de estudo de Várzea, Leça do Balio e Ossela.

1.1. Considerações gerais sobre os setores em estudo

As áreas de estudo localizam-se na Península Ibérica, mais especificamente, no Norte de Portugal (figura 2A). O sector de Várzea, em Arouca, é drenado pelo rio Arda, um afluente da margem esquerda do rio Douro (figura 2B) e tem um comprimento de 42,6 km, em que o troço modelado apresenta uma extensão de 1,47 km. Apesar da área da bacia hidrográfica do rio Arda ter 168 km², apenas 34,5 km² contribuem com escoamento para o setor modelado. A planície aluvial do rio Arda, neste setor, é bastante larga e aplanada apresentando um altitude média de 238 metros e o uso do solo é essencialmente agrícola. Segundo Daveau (1977), a precipitação média anual nesta área varia entre os 1400 e os 1600 mm. Os caudais máximos de cheia, estimados pela fórmula de Loureiro, são de 205,8 m³/s para um período de retorno de 10 anos, 273,2 m³/s em 50 anos e 320,9 m³/s numa cheia centenária (Marafuz, 2011).

O segundo setor em estudo localiza-se em Leça do Balio, concelho de Matosinhos, a uma altitude média de 63 metros. Insere-se num contexto de planície aluvial ampla e

bastante regular, cuja ocupação do solo é maioritariamente agrícola, com exceção do Centro Empresarial da Leonesa e de algumas habitações dispersas no território. O troço rio Leça que foi modelado situa-se muito próximo do sector terminal da bacia hidrográfica (189,5 km²) e apresenta uma extensão de 3,8 km, drenando uma área de 148 km². Nesta área, os caudais de ponta de cheia foram calculados com base na fórmula de *Giandotti*, cujos resultados obtidos correspondem a um caudal de 223,7 m³/s em 10 anos, 285,8 m³/s em 50 anos e 314,3 m³/s para um período de retorno de 100 anos (Velhas, 1991). Em termos climáticos, este é o setor que apresenta os menores valores de precipitação média anual, na ordem dos 1000 a 1200 mm (Daveau, 1977).

O último setor em estudo abrange um troço do rio Caima, em Ossela (Oliveira de Azeméis), com 7 km de comprimento, numa extensão total de 55 km. A bacia hidrográfica do rio Caima é a maior das três bacias em estudo, com 197 km², sendo que apenas 124 km² contribuem para o setor modelado (figura 2B). A planície aluvial no setor em estudo tem uma altitude média de 220 metros e apresenta uma configuração muito semelhante à do setor de Leça do Balio, evidenciando alguns estrangulamentos morfológicos no vale, sobretudo a jusante. Os caudais máximos de cheia, obtidos pela fórmula estatística de Loureiro, no setor de Ossela são de 356,4 m³/s para um período de retorno de 10 anos, 508,2 m³/s em 50 anos e 578,4 m³/s em 100 anos. Neste setor do rio Caima, a precipitação média varia essencialmente entre os 1600 e os 1800 mm por ano (Daveau, 1977).

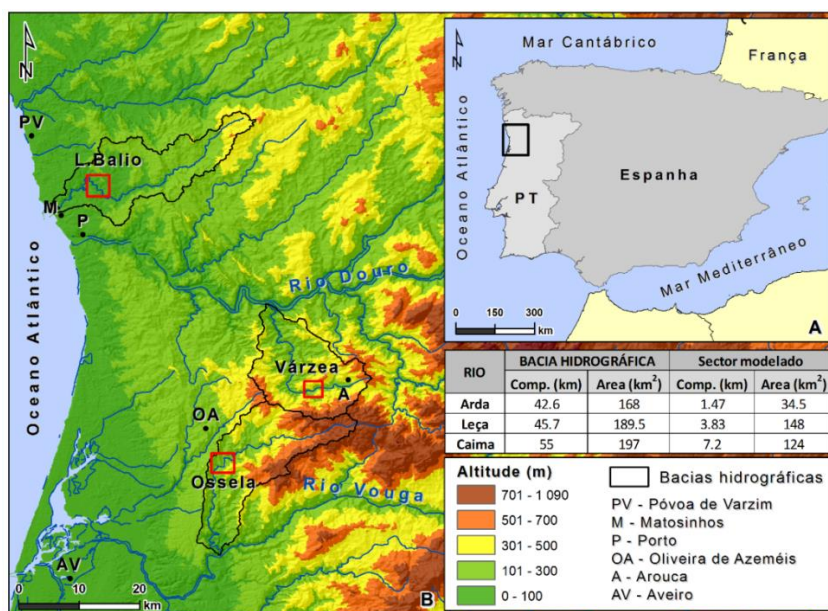


Figura 2. Localização geográfica dos setores em estudo: A – localização no contexto da Península Ibérica, B – localização no noroeste português.

2. Metodologia

2.1. Considerações gerais

Em Portugal, para além da Diretiva 2007/60/CE transposta para a legislação nacional pelo Decreto-lei n.º 115/2010, também existe a Lei n.º 166/2008 da Reserva Ecológica Nacional (REN), que inclui as zonas ameaçadas pelas cheias (ZAC). Estas áreas são delimitadas pela linha da cheia com período de retorno de 100 anos ou pela maior cheia conhecida no caso de não existirem dados que permitam identificar a cheia centenária. A Planta de Condicionantes, uma das principais componentes dos Planos Diretores Municipais, é regulada por um quadro legislativo que determina, no contexto da REN, a delimitação de áreas afetadas por cheias, considerando várias restrições à ocupação do solo. Assim, de acordo com a Lei n.º 166/2008 “...a delimitação das zonas ameaçadas pelas cheias deve ser apoiada em estudos hidrológicos e hidráulicos, pela observação de marcas de cheia e registos dos eventos históricos, e também, através da análise dos dados geomorfológicos, pedológicos e topográficos”.

Contudo, a escassa disponibilidade de informação altimétrica a uma escala superior a 1/2000, capaz de sustentar uma modelação hidráulica rigorosa, bem como, a falta de dados meteorológicos com uma série contínua de pelo menos 30 anos e de dados hidrométricos, compromete, em parte, a aplicação de métodos hidrometeorológicos e hidráulicos rigorosos. De acordo com este quadro legislativo, fez-se um exercício de modo a produzir vários mapas para os três casos de estudo, tendo em conta os requisitos e pressupostos da Diretiva 2007/60/CE e da informação disponível.

2.2. Materiais e métodos

A informação altimétrica - curvas de nível e pontos cotados, utilizada e disponível em Portugal é, na generalidade, à escala 1/10000, com curvas de nível equidistantes 5 metros. Alguns municípios dispõem de cartografia a escalas maiores, nomeadamente 1/2000 ou superiores, que possibilitam modelações topográficas mais rigorosas. Outras fontes de informação altimétrica como os dados *LIDAR* praticamente não existem no país ou nos casos em que existem, não estão disponíveis. Assim, partindo dos dados de base disponíveis para os setores do rio Arda, Leça e Caima, seguiu-se duas metodologias diferentes para delimitar os perímetros de inundação (tabela 1).

Tabela 1. Dados de base e metodologias utilizadas na definição dos perímetros de inundação nos três setores em estudo.

Setor em estudo	Dados de base	Metodologia	Perímetros de inundação
Rio Arda	Dados altimétricos obtidos através do levantamento topográfico; Ortofotomapas.	Medições no <i>software AutoCad</i> ; cálculo de parâmetros hidráulicos; extensão Solver do Excel.	Delimitação das áreas afetadas de forma expedita – extensão da cheia, morfologia local, registos em jornais locais e da proteção civil.
Rio Leça	Altimetria (curvas de nível e pontos cotados) e planimetria (escala 1/1000 – equidistância de 1m); Ortofotomapas.	Criação de dados geométricos (<i>Hec-GeoRas</i> , uma extensão do <i>ArcGis</i>); medições de campo a habitações, muros, pontes; modelação no <i>software HEC-RAS</i> .	Delimitação automática das áreas afetadas (extensão da cheia, coluna de água, velocidade da água) através da extensão <i>Hec-GeoRas</i> .
Rio Caima	Altimetria (curvas de nível e pontos cotados) e planimetria (escala 1/2000 – equidistância de 2m); Ortofotomapas.	Criação de dados geométricos (<i>Hec-GeoRas</i> , uma extensão do <i>ArcGis</i>); modelação no <i>software HEC-RAS</i> .	Delimitação automática das áreas afetadas (extensão da cheia, coluna de água, velocidade da água) através da extensão <i>Hec-GeoRas</i> .

No setor de Várzea, a informação altimétrica disponível, à escala 1/10000, não possibilitou a modelação da topografia da planície aluvial do rio Arda com detalhe suficiente. Por este motivo, foi realizado o levantamento topográfico de 15 secções transversais perpendiculares ao rio e à planície aluvial. Este processo foi efetuado com uma estação total de elevada precisão (milímetros) e, nos locais de reduzida visibilidade, com recurso a um GPS, cuja precisão em pós-processamento com uma antena externa, pode atingir os 10 a 15 cm. Durante o levantamento, anotou-se a altura da água a partir do talvegue e o tipo de revestimento das margens para cada secção para, posteriormente, se determinar o coeficiente de rugosidade do canal. De seguida, foi criado um sistema de referência local baseado no levantamento topográfico de três vértices geodésicos muito próximos da área de estudo, de forma a ajustar os pontos obtidos por ambos os levantamentos. Estes pontos foram processados no *software AutoCad*, onde se traçaram os perfis transversais e onde se fizeram algumas medições. Posteriormente, foram calculados os parâmetros hidráulicos como a secção molhada, o perímetro molhado, o raio hidráulico, elementos necessários para a determinação da superfície livre de escoamento através da fórmula de *Manning-Strickler* (Marafuz, 2011, Marafuz *et al.*, 2013).

Para a predeterminação dos caudais de ponta de cheia para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos, aplicou-se a fórmula estatística de Loureiro (Loureiro, 1984). A fórmula resultou de inúmeros estudos realizados pelo autor para todo o país, onde correlacionou os caudais de ponta de cheia determinados pela distribuição de *Gumbel* com a área da bacia hidrográfica, tendo definido zonas com o mesmo regime hidrológico

(Loureiro, 1984, Lencastre & Franco, 1984). Esta fórmula considera a área da bacia hidrográfica (em km²) e dois parâmetros regionais estabelecidos para cada zona delimitada pelo autor e de acordo com os diferentes períodos de retorno. Depois de todos os cálculos acima mencionados, utilizou-se uma extensão de otimização disponível no *Excel*, o *Solver*, para se obter a altura atingida pela água em cada secção. Os perímetros de inundação foram depois delimitados de forma expedita tendo em conta a altura da coluna de água, a configuração da morfologia da planície de inundação e os registos históricos de ocorrência de cheias, obtidos através da pesquisa em jornais locais e dos registos dos serviços de proteção civil (Marafuz, 2011).

No setor de Leça do Balio, com a cartografia de base existente, nomeadamente a altimetria e planimetria à escala 1/1000 com curvas de nível equidistantes um metro, e com outros elementos geométricos como a rede hidrográfica, rede de estradas, habitações e infraestruturas, foi criado o modelo digital de elevação (MDE). Através do MDE e com o auxílio do *software Hec-GeoRas* foram então desenhados os elementos necessários para a modelação hidráulica, a saber: o centro geométrico do canal, as margens, a direção do fluxo, os perfis transversais, as obstruções, os muros, as pontes e o uso do solo que permitem uma correta representação do terreno (Cook & Merwade, 2009). Estes dados foram processados pelo *software Hec-Ras* pois não é possível adicionar diretamente o MDE no cálculo efetuado. A geometria do canal/planície aluvial é apenas um dos *inputs* do modelo hidráulico, salientando-se a importância dos caudais máximos de cheia. Estes foram obtidos com base na fórmula cinemática de *Giandotti* (Giandotti, 1953; Velhas, 1991) cujos resultados, após validação de campo, mostraram ser próximos do observado num episódio de cheia em Março de 2001. Os dados geométricos e de caudal máximo foram processados no *software Hec-Ras*, escolhendo-se a simulação *Steady Flow* para o cálculo dos resultados. (Gonçalves, 2012).

Os resultados obtidos pela modelação no *Hec-Ras* foram exportados para o *ArxMap*, onde foram geradas as *shapefiles* com os limites das cheias para os diferentes períodos de retorno, a altura da coluna de água e outros resultados opcionais que podem ser gerados, como a velocidade da água (Brunner, 2008; Ackerman, 2011). Posteriormente à modelação, verificaram-se algumas inconsistências entre os dados observados no campo e os resultados obtidos, devido à ausência de elementos antrópicos existentes na planície aluvial que não se encontravam representados na cartografia de base e que funcionavam como barreiras à livre circulação da água do rio. Assim, foram efetuadas medições no terreno a elementos como muros e habitações próximas do rio e ainda a açudes e pontes, com recurso a um distanciómetro. De seguida foi criado um novo MDE que incluiu esses elementos através da alteração do traçado de algumas curvas de nível com exceção das pontes, incluídas no *Hec-Ras*. Este procedimento foi essencial uma vez que permitiu criar um modelo com maior precisão altimétrica e gerar resultados mais fiáveis e representativos dos eventos de cheias que ocorrem (Gonçalves, 2012). Deste modo, quanto mais detalhada e atualizada a cartografia de base, melhor o *software* irá modelar as cheias nas áreas de estudo.

Esta metodologia foi também empregue no setor de Ossela, para o qual dispúnhamos de cartografia de base à escala 1/2000 e que nos permitiu gerar um MDT muito detalhado. Após a criação dos dados geométricos, fez-se a modelação em *Hec-Ras*

e delimitaram-se de forma automática os perímetros de inundação através da extensão *Hec-GeoRas*.

3. Resultados e discussão

3.1. Comparação dos perímetros de inundação obtidos e dos limites da REN (PDM)

Os resultados apresentados na figura 3A, B e C evidenciam os perímetros de inundação obtidos para os períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos. Pode-se dizer que existe uma clara relação entre os resultados obtidos e os dados de base que permitiram desenvolver a modelação. No caso do setor de Várzea, a falta de informação altimétrica detalhada implicou a necessidade de se efetuar o levantamento topográfico, um processo demorado e dispendioso. Este procedimento permitiu obter dados topográficos muito precisos visto que se podem escolher o número de secções transversais, o distanciamento entre elas e a quantidade de pontos cotados que se considerem pertinentes. No entanto, o processo para delimitar os perímetros de forma expedita não permite obter resultados tão rigorosos quanto os que derivam da modelação semiautomática.

A criação do MDE/MDT torna-se mais fácil e rápida, quando se utiliza cartografia vetorial com curvas de nível equidistantes de 2 metros ou menos. A possibilidade de se melhorarem e atualizarem os dados altimétricos através de medições expeditas no terreno permitem ainda refinar os MDT e, desta forma, fazer modelação hidráulica mais realista e rigorosa.

Foi ainda objetivo deste trabalho comparar os perímetros de inundação obtidos pela modelação efetuada com os limites considerados pela REN e que se encontram na Planta de Condicionantes dos PDMs das áreas em estudo. Estes limites foram incluídos nos mapas finais de forma a possibilitar uma visualização fácil e imediata das diferenças existentes. Analisando os resultados referentes ao caso do setor de Várzea (figura 3A), verifica-se que as diferenças em termos de áreas são pouco evidentes, sendo que os polígonos delimitados pela REN apresentam apenas mais 417,3 m² do que os modelados (tabela 2). Os perímetros de inundação delimitados para o setor de Leça do Balio são mais rigorosos, uma vez que após as medições realizadas no terreno foi possível aprimorar e tornar mais realista o modelo (figura 3B). Comparando estes resultados com os polígonos da REN, as diferenças são assinaláveis. As áreas da REN são menos refinadas e indiferenciadas, não discriminando as zonas ameaçadas pelas cheias dos outros elementos que pertencem à REN. No entanto, a área dos perímetros de inundação obtidos pela modelação corresponde a cerca de 329278 m² enquanto a área da REN é de 385254 m², o que significa uma diferença de 55976,4 m² (tabela 2).

No caso do setor de Ossela, o perímetro de inundação delimitado para o período de retorno de 100 anos apresenta 721989 m², menos 287275,8 m² do que os limites considerados pela REN (tabela 2). Assim sendo, verifica-se que o número de elementos expostos abrangidos pela REN é mais significativo (figura 3C).

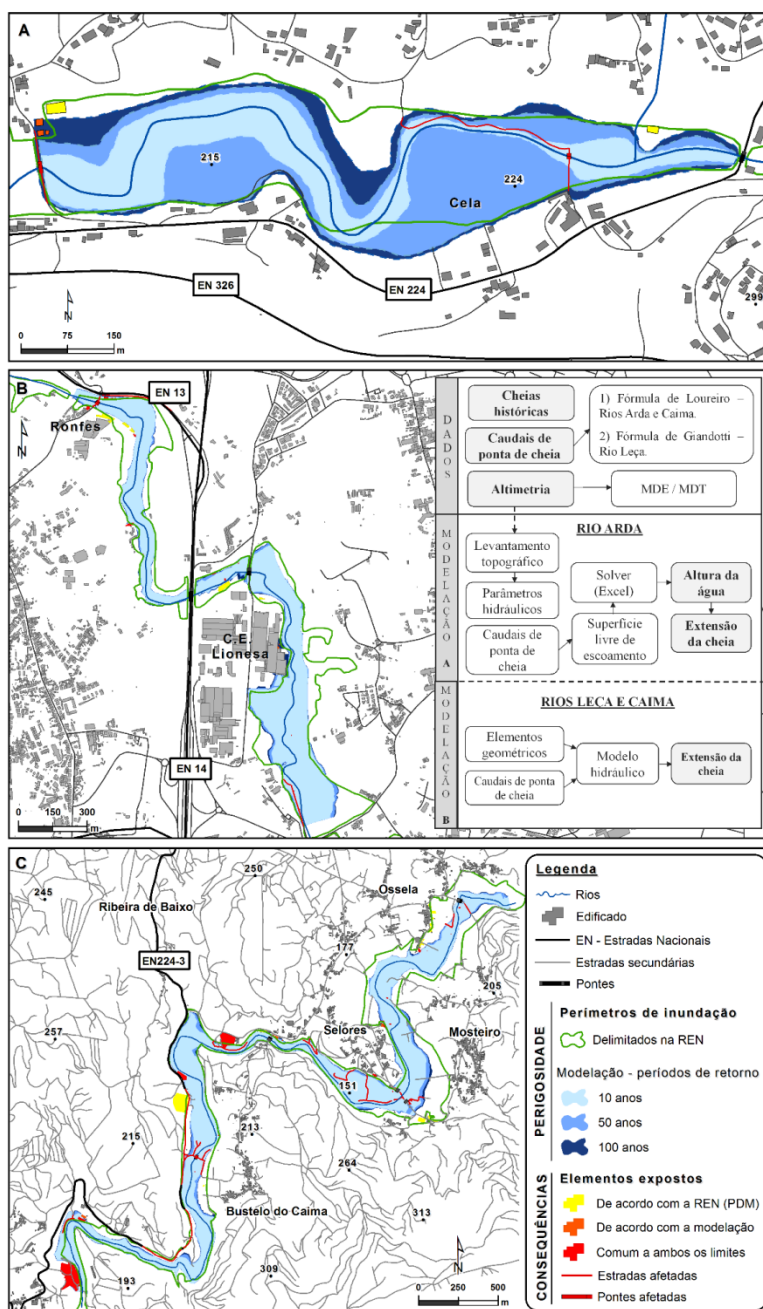


Figura 3. Perímetros de inundação e localização dos elementos expostos: A – setor de Várzea, B – setor de Leça do Balio, C – setor de Ossela.

Sector em estudo	REN / PDM (m ²)	Modelação (m ²)	Diferença (m ²)
Rio Arda	171985,1	171567,8	- 417,3
Rio Leça	401430	329277,6	- 72152,4
Rio Caima	1009256,8	721981	- 287275,8

Tabela 2. Comparação entre os resultados obtidos pela modelação e as zonas ameaçadas pelas cheias definidas pela REN (PDM).

3.2 Análise dos elementos expostos incluídos nos perímetros de inundação modelados e nas zonas ameaçadas pelas cheias consideradas pela REN (PDM).

Em geral, os elementos expostos são inúmeros sobretudo ao nível das habitações e infraestruturas. O setor de Várzea é maioritariamente ocupado por espaços agrícolas pelo que o número de elementos expostos é reduzido (tabela 3). No caso dos perímetros de inundação obtidos com os cálculos matemáticos assinalam-se três habitações próximas do rio, local para o qual existem fotografias da cheia de 2001 que corroboram esses resultados. Pelo contrário, nas áreas consideradas pela REN encontram-se apenas duas habitações que se situam mais afastadas do curso de água. Os elementos expostos abrangidos por ambas as delimitações dizem respeito a uma estrada e uma ponte que se localiza a jusante do setor e que podem ser afetados em eventos com média probabilidade de ocorrência, isto é, no caso da cheia com período de retorno de 100 anos; e ainda uma estrada secundária e uma ponte antiga localizadas mais a montante.

Os perímetros de inundação obtidos para o troço do rio Leça afetam sobretudo uma parte do parque de estacionamento do Centro Empresarial Lionesa. Quando se analisam os elementos que são afetados por ambos os limites considerados verifica-se que existem quatro habitações que podem sofrer danos. Observando os elementos expostos inseridos dentro dos polígonos traçados pela REN, podem-se referir três habitações, duas indústrias, dois parques de estacionamento e dois anexos (tabela 3).

Por fim, no setor de Ossela nas zonas ameaçadas pelas cheias consideradas na REN são contabilizados um significativo número de elementos, nomeadamente, nove habitações, a EN224-3 e ainda nove anexos. Pela modelação efetuada, assinalam-se três casas e quatro anexos. Em comum aos limites modelados e aos polígonos da REN, encontraram-se cinco habitações, dezassete anexos, duas indústrias, dez estradas secundárias e uma ponte.

Constata-se assim que existem alguns elementos expostos que se encontram nos leitos de cheia e não estão contabilizados nos Planos Diretores Municipais. Por outro lado, o facto das zonas ameaçadas pelas cheias, incluídas nas plantas de condicionantes, serem bastante generalizadas, abrangem um grande número de elementos expostos que nem sempre coincidem com os considerados nos perímetros de inundação modelados.

Setor em estudo	REN (PDM)	Modelação	Elementos expostos comuns	N.º de elementos expostos por classe de perigosidade
Rio Arda	2 Casas	3 Casas	2 Estradas secundárias, 1 ponte	---
Rio Leça	2 Indústrias, 3 casas, 2 anexos, 2 parques de estacionamento	2 Parques de estacionamento, 1 anexo	4 Casas, 10 anexos, 1 parque de estacionamento, 2 estradas secundárias	Baixa - 24 Média - 2 Alta - 3
Rio Caima	9 Casas, 9 anexos, 1 estrada principal	3 Casas, 4 anexos	5 Casas, 17 anexos, 2 indústrias, 10 estradas secundárias	Baixa - 35 Média - 6 Alta - 1

Tabela 3. Elementos expostos abrangidos pelos perímetros de inundação obtidos pela modelação e delimitados pela REN (PDM).

4. Conclusões

A escolha das diferentes metodologias para a modelação dos perímetros de inundação para os setores de Várzea, Leça do Balio e Ossela dependeu fortemente da cartografia de base disponível. No primeiro caso foi necessário aplicar uma metodologia baseada em cálculos matemáticos uma vez que não existiam dados altimétricos detalhados que permitissem desenvolver um modelo semiautomático e, daí, que os perímetros de inundação tenham sido obtidos de forma expedita. Nos outros dois setores em estudo, a cartografia de base topográfica à escala 1/1000 e 1/2000, respetivamente, possibilitou fazer a modelação no *Hec-Ras* e obter resultados mais rigorosos. Estes modelos podem ser refinados com medições rápidas de campo, através da inclusão de novos elementos que não estejam contemplados na cartografia de base.

Apesar dos pressupostos da Diretiva *Floods* e do Decreto-lei n.º 166/2008 para a delimitação das zonas ameaçadas pelas cheias serem claros, é necessário adaptá-los em função dos dados topográficos existentes. Por outro lado, a comparação dos resultados obtidos com as áreas consideradas pela REN, compreendidas nas plantas de condicionantes, permitiu ter a perceção de algumas fragilidades existentes nos planos de ordenamento municipal, sublinhando-se a necessidade de se realizarem estudos mais aprofundados sobre os elementos expostos no território afetado pelas cheias. Realça-se também a importância da elaboração de cartografia de elementos expostos para os setores em estudo, úteis para o planeamento e para orientar os estudos de vulnerabilidade.

O estudo realizado para os três setores, pode e deve ser expandido para outros casos portugueses, incluindo os procedimentos que permitam avançar dos mapas de perigosidade para os mapas de risco, a fim de dar cumprimento à Diretiva *Floods*.

Referências

- Ackerman, P. 2011. Hec-GeoRas - GIS Tools for Support of HEC-RAS Using ArcGIS. User Manual. Davis, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources - Hydrologic Engineering Center. p. 244.
- Brunner, G. 2008. HEC-RAS, River Analysis System - Hydraulic Reference Manual. Davis, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- Cook, A., Merwade, V. 2009. Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*; 377, 1-2: 131-142.
- Daveau, S. 1977. Répartition et Rythme des Précipitations au Portugal. *Memória do Centro de Estudos Geográficos*, nº3, Lisboa.
- Decreto-lei n.º 166/2008. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território. *Diário da República*, I Série, N.º 162, 22 de Agosto de 2008.
- Decreto-lei n.º 115/2010. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território. *Diário da República*, I Série. N.º 206, 22 de Outubro de 2010.
- European Council (EC), 2007. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007. On the assessment and management of flood risk. *Official Journal of the European Union*: 27-34.
- Ferreira, A.B.; Zêzere, J.L. 1997. Portugal and the Portuguese Atlantic Islands. In C. Embleton; C. Embleton-Hamann (eds.), *Geomorphological Hazards of Europe, Developments in Earth Surface Processes* 5, Elsevier, Amsterdam, p.391-407.
- Giandotti, M. 1953. Considerazioni idrologiche Sulle Piene del Po: con speciale riguardo alla piena del Novembre 1951. *Istituto poligrafico dello Stato*.
- Gonçalves, P. 2012. A delimitação de perímetros de inundação no rio Leça – modelação hidráulica para duas áreas do concelho de Matosinhos. *Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto*: 126.
- Hollis, G. E. 1975. The effect of urbanization on floods of different recurrence interval. *Water Resources Research*, 11 (3): 431–435.
- Jonkmand, S.N., Vrijling, J.K., 2008. Loss of life due to floods. *Journal of Flood Risk Management*; 1: 43-56.
- Lencastre, A., Franco, F.M. 1984. Lições de hidrologia. *Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa*: 284-318.
- Loureiro, J.M. 1984. Expressão para o cálculo do caudal máximo de cheia em cursos de água de Portugal. *Recursos Hídricos*, 5: 53-78.
- Marafuz, I. 2011. Inundações urbanas e cheias progressivas em Arouca: casos de estudo, metodologias de análise e ordenamento do Território. *Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto*: 136.

Marafuz, I., Gonçalves, P., Pereira, A., Gomes, A. 2013. A delimitação de perímetros de inundação segundo a diretiva floods (ou dl. n.º 115/2010): avaliação de metodologias. VI Congresso Nacional de Geomorfologia, Coimbra: 160-164.

Moel, H. de; Alphen, J. van; Aerts, J. C. J. H. 2009. Flood maps in Europe – methods, availability and use. *Natural Hazards and Earth System Sciences*; 9: 289 – 301.

Ramos, C., Reis, E., 2002. Floods in Southern Portugal: their physical and human causes, Impacts and Human response. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7, n.º 3, Kluwer Academic Publishers: 267-284.

Soares, L., Santos, M., Hermenegildo, C., Bateira, C., Martins, L., Matos, F., Gomes, A., Peixoto, A., Couceiro, S., Gonçalves, S., Lourenço, S. 2012. Reconstruction of the 1909 hydro-geomorphologic events in north of Portugal: the importance of GIS databases. *Actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología*, Santander: 147-150.

Velhas, E. 1991. A Bacia Hidrográfica do Rio Leça - Estudo Hidroclimatológico. *Revista da Faculdade de Letras – Geografia*, VII, 1ª Serie: 139-251.

Zêzere, J. L., Pereira, S., Quaresma, I., Santos, P., Santos, M. 2013. Desastres de origem hidro-geomorfológica em Portugal continental no período 1865-2010. VI Congresso Nacional de Geomorfologia, Coimbra: 124-128.

<http://www.emdat.be/result-country-profile>